



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 44 40 613 C 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 S 7/481  
H 01 L 27/148  
G 06 K 9/28  
G 01 J 1/44

21 Aktenzeichen: P 44 40 613.4-35  
22 Anmeldetag: 14. 11. 94  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25. 7. 96

DE 44 40 613 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Leica AG, Heerbrugg, CH; Tesa S.A., Renens, Vaud,  
CH

74 Vertreter:  
Stamer, H., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 35579 Wetzlar

72 Erfinder:  
Spirig, Thomas, Dipl.-Phys., Effretikon, CH; Seitz,  
Peter, Dr., Küsnacht, CH

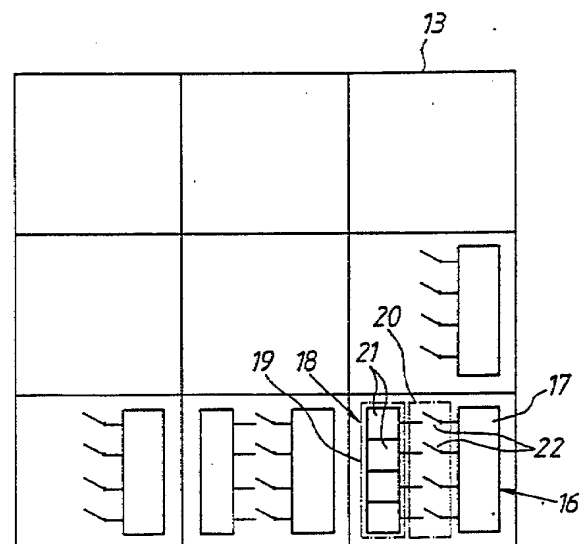
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 43 03 015 C1  
DE 41 29 912 C1  
DE 39 09 394 C2  
DE 38 39 512 C2  
DE 34 04 396 A1  
GB 21 22 833 A

POVEL, Hanspeter, AEBERSOLD, Hans, STENFLO,  
Jan O.: »Charge-coupled device image sensor as a  
demodulator in a 2-D polarimeter with a piezoelectric  
modulator« in US-Z.: Applied Optics, Vol.29, No.8/10  
March 1990, pp1186-1190;  
»Laser-Radar Imaging without Scanners« in US-Z.:  
Phononics Spectra, April 1994, pp. 28-29;

54 Vorrichtung und Verfahren zur Detektion und Demodulation eines intensitätsmodulierten Strahlungsfeldes

57 Die Erfindung betrifft einen Bildsensor (13), der aus einer Mehrzahl von Sensorelementen (16) besteht. Jedes Sensorelement (16) weist einen lichtempfindlichen Teil (17), in dem die Strahlung ortsabhängig detektiert wird. Jedem Sensorelement (16) ist eine Mehrzahl von Speicherzellen (21) zugeordnet, in denen nacheinander die in dem lichtempfindlichen Teil (17) des jeweiligen Sensorelements (16) detektierten Ladungen abgespeichert werden. Es läßt sich dadurch gleichzeitig in dem Bildsensor (13) intensitätsmodulierte Strahlung ortsabhängig detektieren und demodulieren. Die Erfindung ermöglicht die Ermittlung einer Reihe von Meßdaten über das Meßobjekt, so daß eine genaue Erfassung des Meßobjekts zur Entfernungsmessung gewährleistet ist.



DE 44 40 613 C 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Detektion und Demodulation eines intensitätsmodulierten Strahlungsfeldes gemäß den Ansprüchen 1 bzw. 8.

Das Verhalten vieler Systeme in der Technik wird unter anderem mit Hilfe von modulierten Signalen untersucht. Das System wird dabei mit einem modulierten, beispielsweise einem sinusförmigen Signal angeregt, wobei die Antwort des Systems gemessen wird. Als charakteristische Größen werden die Modulation der erhaltenen Systemantwort, ihre Phasenverschiebung gegenüber dem anregenden Signal und der Hintergrund-Signalpegel (Offset) bestimmt.

Bei bekannten Halbleiter-Bildsensoren werden zweidimensionale Verteilungen der Lichtintensität in zweidimensionale Photostromdichte-Verteilungen umgewandelt. In sogenannten Pixeln werden die lichtgenerierten Signalladungen zeitlich aufintegriert. Beispielsweise ist aus der DE 39 09 394 C2 ein CCD-Bildsensor bekannt, bei dem die generierten Ladungsmuster während der Belichtung lateral verschoben werden. Hierdurch soll das Auftreten von Bewegungsunschärfen bei der Aufnahme von relativ zum Bildsensor bewegten Objekten vermieden werden.

Zur Anwendung in abtastfreien, bildgebenden Laser-Radar-3D-Kameras ist ein Verfahren bekannt, bei dem moduliertes Licht auf einen herkömmlichen Bildsensor abgebildet wird (Laser-Radar Imaging Without Scanners, Photonics Spectra, pp. 28. April 1994). Die Demodulation erfolgt mit einem bilderhaltenden, zeitlich variablen Verstärkerelement zwischen dem Abbildungsobjektiv und dem Halbleiterbildsensor. Das Verstärkerelement ist als Microchannel-Plate (MCP) ausgeführt, wobei es mit Hochspannungen von 100 bis 1000 Volt betrieben werden muß. Das ankommende Licht wird zeitlich moduliert in dem Verstärkerelement absorbiert und gelangt dann auf den Bildsensor, wobei dieser nur die Funktion des Integrators hat. Es können dabei drei oder mehr Bilder aufgenommen werden, wobei ein erheblicher Lichtverlust durch Absorption in dem Verstärkerelement in Kauf genommen werden muß. Außerdem müssen die Bilder zwischen den Aufnahmen vollständig aus dem Bildsensor ausgelesen werden.

Außerdem ist ein CCD-Bildsensor für die Demodulation von zeitlich verschieden polarisiertem Licht bekannt (H. Povel, H. Aebersold, J. O. Stenflo, "Charge-coupled device image sensors as a demodulator in a 2-D polarimeter with a piezoelectric modulator", Applied Optics, Vol. 29, pp. 1186—1190, 1990). Dazu wird ein Modulator zwischen dem Objektiv und dem CCD-Bildsensor angeordnet, der in schneller Folge die Polarisation des Lichtes zwischen zwei Zuständen umschaltet. Die zwei entstehenden Bilder der zwei Polarisationszustände werden in dem Bildsensor akkumuliert und gespeichert. Dazu wird ein bekannter Bildsensor mit einer Streifenmaske versehen, welche jede zweite Bildsensor-Zeile lichtdicht abdeckt. Auf diese Weise kann man durch vertikales Auf- und Abschieben des Bild-Ladungsmusters das Bild des jeweiligen Polarisationszustandes im richtigen Takt akkumulieren.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Detektion und Demodulation eines intensitätsmodulierten Strahlungsfeldes anzugeben, so daß die Bestimmung einer Mehrzahl von Parametern des modulierten Strahlungsfeldes gewährleistet ist.

Die Aufgabe wird durch die in dem Anspruch 1 (Vorrichtungsanspruch) und dem Anspruch 8 (Verfahrensanspruch) aufgeführten Merkmalen gelöst.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß ein sich in ein- oder zweidimensionaler Richtung erstreckender Bildsensor geschaffen wird, der eine Mehrzahl von Sensorelementen aufweist, die jeweils geeignet sind, einerseits die modulierte Strahlung zu detektieren und andererseits die Demodulation derselben durchzuführen. Ein Taktgenerator ermöglicht, daß die jeweils in den Sensorelementen ausgeführte Demodulation synchron zum von der Strahlungsquelle ausgesendeten Modulationssignal erfolgt, so daß nach dem Auslesen der Meßwerte aus der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Parameter des detektierten Strahlungsfeldes ortsabhängig bestimmt werden können.

Vorzugsweise besteht die erfindungsgemäße Vorrichtung aus einer Mehrzahl von Sensoreinheiten, die sich in zweidimensionaler Richtung erstrecken. Sie kann dann mit Vorteil für bildgebende interferometrische Meßmethoden benutzt werden, wobei bei der Aufnahme der Bilder nach dem Heterodynverfahren zeitlich modulierte Bildsignale auftreten. Daneben kann die erfindungsgemäße Vorrichtung auch aus einem einzigen Sensorelement bestehen, so daß eine punktweise Messung erfolgen kann.

Jedes Sensorelement weist mindestens eine Speicherzelle auf, die eine Aufaddierung der in einem lichtempfindlichen Teil des Sensorelements detektierten Ladungen ermöglicht. Hierdurch wird die Detektion von Signalen geringer Intensität gewährleistet.

Nach einer bevorzugten Ausführung wird ein sinusförmiges Strahlungsfeld detektiert und demoduliert. Mit einer Anzahl von vier Abtastungen je Periode lassen sich die Amplitude, die Phase und das Hintergrundlicht des Strahlungsfeldes bestimmen. Mit Erhöhung der Abtastrate lassen sich weitere Parameter des detektierten Strahlungsfeldes gewinnen, wie z. B. die Bestimmung von Fourierkoeffizienten.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2 ein Strukturbild des Bildsensors nach einem ersten Ausführungsbeispiel,

Fig. 3 ein Strukturbild des Bildsensors nach einem zweiten Ausführungsbeispiel,

Fig. 4 ein zeitlicher Verlauf einer detektierten, sinusförmigen Modulationssignals.

Die Erfindung läßt sich vorteilhafterweise zur Entfernungsmessung einsetzen. Die Laufzeit eines von einer Strahlungsquelle ausgesendeten modulierten Lichtpulses, der an dem Meßobjekt reflektiert wird und von der erfindungsgemäßen Vorrichtung detektiert wird, kann durch die Ermittlung der Phasendifferenz des modulierten Lichtes bestimmt werden. Weiterhin bietet die Erfindung die Möglichkeit, gleichzeitig Bildinformationen des Meßobjekts aufzunehmen. Als bevorzugte Anwendungsgebiete der Erfindung ergeben sich daher die Autosenso- und die Robotik.

Die im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele dienen dazu, die Phase, den Scheitelwert und den Hintergrund-Lichtpegel des detektierten Strahlungsfeldes zu bestimmen. Als Strahlungsquelle zur Aussendung eines Modulationssignals dient der Laser 10, der auf eine Meßobjekt 11 gerichtet ist (siehe Fig. 1). Das an dem

Meßobjekt 11 reflektierte Strahlungsfeld wird mit einer herkömmlichen Optik 12 auf einem Bildsensor 13 der Vorrichtung abgebildet. Ein Taktgenerator 14 dient zur Steuerung der in dem Bildsensor 13 aufgenommenen Signale und führt sie nach erfolgter Detektion und Demodulation in dem Bildsensor 13 einer Auswerteeinheit 15 zu, in der die Meßwerte berechnet und einer nicht dargestelltenanzeigeeinheit weitergeleitet werden.

Nach einem ersten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 besteht der Bildsensor 13 aus neun gleichartig aufgebauten Sensorelementen 16, die zusammen ein  $3 \times 3$ -Bildsensorfeld bilden. Jedes Sensorelement 16 besteht aus einem lichtempfindlichen Teil 17, auf den das intensitätsmodulierte Strahlungsfeld auftrifft und entsprechend der Intensität desselben eine Anzahl von Signalladungen erzeugt werden. Der lichtempfindliche Teil 17 des Sensorelements 16 ist als Photodiode ausgebildet. Alternativ kann der lichtempfindliche Teil 17 als MOS-Kondensator ausgebildet sein.

Desweiteren weist das Sensorelement 16 einen lichtunempfindlichen Teil 18 auf, der aus einem Speicherbereich 19 und einem Schalterbereich 20 besteht.

Der Speicherbereich 19 und der Schalterbereich 20 enthalten jeweils die gleiche Anzahl von Speicherzellen 21 bzw. elektrischen Schaltern 22, wobei deren Anzahl der Zahl der in dem lichtempfindlichen Teil 17 je Periode durchgeführten Intergrationen der Strahlung entspricht. Die Speicherzellen 21 können jeweils als CCD-Pixel oder CMOS-Kondensatoren ausgebildet sein. Die elektrischen Schalter 22 sind als Transistor-Schalter oder als CCD-Gates ausgebildet.

Die Übertragung der in dem lichtempfindlichen Teil 17 aufintegrierten Ladungen in den Speicherbereich 19 erfolgt durch sequentielle Ansteuerung der elektrischen Schalter 22. Zu diesem Zweck werden die elektrischen Schalter 22 von dem Taktgenerator 14 derart gesteuert, daß zu einem bestimmten Zeitpunkt der erste Schalter 22 geschlossen wird, damit der Inhalt des lichtempfindlichen Teils 17 in eine erste Speicherzelle 21 abgespeichert wird. Nach Öffnung des ersten Schalters und Ablauf einer kurzen festgelegten Zeitspanne wird der zweite Schalter 22 geschlossen, damit die nächste in dem lichtempfindlichen Teil 17 aufintegrierte Ladungsmenge in die zweite Speicherzelle 21 übertragen werden kann. Dieser Schaltungsablauf setzt sich fort, bis der letzte Schalter geschlossen und wieder geöffnet worden ist. Danach kann die Durchschaltung der Ladungen von dem lichtempfindlichen Teil 17 in die Speicherzellen 21 von vorne beginnen, wobei jeweils der Inhalt der Speicherzellen 21 zeitsynchron zu dem von dem Laser 10 ausgesendeten Modulationssignal aufaddiert wird.

Gemäß Fig. 4 wird ein sinusförmiges Strahlungssignal detektiert. Zu diesem Zweck werden in dem lichtempfindlichen Teil 17 innerhalb einer Periodendauer T des Strahlungssignals viermal die Ladungen jeweils innerhalb eines Integrationsintervalles I aufintegriert. Die Integrationsintervalle sind äquidistant und in gleichen Abständen zueinander verteilt. Nach sequentieller Übertragung der Ladungsmengen über die jeweils zugeordneten Schalter 22 in die Speicherzellen 21 und wiederholter Aufaddierung derselben in den Speicherzellen 21 werden die ladungsproportionalen Meßwerte aus dem Speicherbereich 20 in eine Auswerteeinheit 15 weitergeleitet, in der die Parameter des detektierten Strahlungssignals berechnet werden.

Wie aus Fig. 4 zu ersehen, werden folgende Parameter ortsabhängig gemessen. Es läßt sich die Phasendifferenz  $\Phi$  zwischen dem detektierten Strahlungssignal und

dem ausgesendeten Modulationssignal bestimmen, so daß die Entfernung zu dem Meßobjekt 11 ermittelt werden kann. Als Zeitbezugspunkt dient der Zeitpunkt  $t_B$  des Scheitelwertes des Modulationssignals. Desweiteren kann aus dem demodulierten Strahlungssignal ein Scheitelwert A und ein Hintergrundlichtpegel B bestimmt werden.

Nach einem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 ist ein Bildsensor 23 ausschließlich in CCD-Technik ausgebildet. Der Bildsensor 23 besteht aus einem Feld von  $3 \times 3$  rückwärts vorgespannten MOS-Kondensatoren 24 als lichtempfindlicher Teil des Bildsensors 23. Zwischen den lichtempfindlichen MOS-Kondensatoren 24 sind vertikale CCD-Bereiche 25 angeordnet, die jeweils aus Speicherzellen 26 bestehen. Zur Abtastung von vier Ladungen je Periode ist jeder lichtempfindliche MOS-Kondensator 24 über vier Transfer-Gates 27 als elektrische Schalter mit vier Speicherzellen 26 verbunden. Ein nicht dargestellter Taktgenerator steuert die Durchschaltung der Signalladungen von den MOS-Kondensatoren 24 in die vertikalen CCD-Bereiche 25 und nachfolgend die Übertragung der Signalladungen von den vertikalen CCD-Bereichen 25 in einen horizontalen CCD-Bereich 28. Von dort werden die Signalladungen einer Auswerteeinheit zur Bestimmung der Meßwerte zugeführt.

Alternativ können die CCD-Bereiche auch kreisbogenförmig ausgebildet sein, wobei die CCD-Bereiche jeweils die MOS-Kondensatoren 24 umschließen.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Detektion und Demodulation eines intensitätsmodulierten Strahlungsfeldes mit folgenden Merkmalen:

- einen Bildsensor (13, 23) bestehend aus einer ein- oder zweidimensionalen Anordnung von Sensorelementen (16),
- jedes Sensorelement (16) besteht aus einem lichtempfindlichen Teil (17) zur Umsetzung des Strahlungssignals in ein elektrisches Signal und einem lichtunempfindlichen Teil (18) mit mindestens einem elektrischen Schalter (22) und mit mindestens einer jeweils dem Schalter (22) zugeordneten Speicherzelle (21, 26),
- einen Taktgenerator (14) zur Steuerung der elektrischen Schalter (22) derart, daß die in dem lichtempfindlichen Teil (17) erzeugten Signalladungen synchron zu einem von einer Strahlungsquelle erzeugten Modulationssignal in die Speicherzellen (21, 26) durchgeschaltet werden, und zur Steuerung der Speicherzellen (21, 26), so daß die jeweils in den Speicherzellen (21, 26) gespeicherten Meßwerte in eine Auswerteeinheit (15) zur Auswertung der Meßwerte übertragen werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Bildsensor (13, 23) einstückig ausgebildet ist, wobei die Sensorelemente (16) unmittelbar nebeneinander liegend ein ein- oder zweidimensionales Feld bilden.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der lichtempfindliche Teil (17) des Sensorelements (16) als eine Photodiode oder als ein mit einer Vorspannung versehener MOS-Kondensator (24) ausgebildet ist.

4. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die

Speicherzelle (21) als ein von Licht geschütztes CCD-Pixel oder als ein MOS-Kondensator ausgebildet ist.

5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Speicherzellen (26) linienförmige CCD-Bereiche (25, 28), insbesondere geradlinige CCD-Bereiche (25, 28), bilden, aus denen die gespeicherten Meßwerte sequentiell zu der Auswerteeinheit übertragen werden.

6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Speicherzellen (26) derart nebeneinander angeordnet sind, daß sie in sich geschlossene CCD-Bereiche, insbesondere kreisförmige CCD-Bereiche, bilden.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrische Schalter (22) als Transistor-Schalter oder als CCD-Transfer-Gate (27) ausgebildet ist.

8. Verfahren zur Detektion und Demodulation eines intensitätsmodulierten Strahlungsfeldes, wobei

— das Strahlungsfeld durch ein Optik (12) auf einen aus ein- oder zweidimensional angeordneten Sensorelementen (16) bestehenden Bildsensor (13, 23) abgebildet wird,

— in einer ersten Phase in einem lichtempfindlichen Teil (17) des Sensorelements (16) nacheinander Signalladungen entsprechend der Intensität des Strahlungsfeldes erzeugt werden, wobei jeweils während eines Integrationsintervalls (1) die Signalladungen aufintegriert werden,

— die jeweils aufintegrierten Signalladungen synchron zu einem von der Strahlungsquelle erzeugten Modulationssignal in einen lichtunempfindlichen Teil (18) des Sensorelements (16) übertragen werden und jeweils in einer Speicherzelle (21, 26) abgespeichert werden,

— die in dem lichtempfindlichen Teil (17) erzeugten Signalladungen sequentiell von dem lichtempfindlichen Teil des Sensorelements (16) über mindestens einen jeweils einer Speicherzelle (21, 26) zugeordneten elektrischen Schalter (22) der entsprechenden Speicherzelle (21, 26) zugeführt und abgespeichert werden,

— und in einer zweiten Phase die in den Speicherzellen (21, 26) gespeicherten Meßwerte nacheinander ausgelesen und einer Auswerteeinheit (15) zugeführt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Objekt (11) mit einem von einer Strahlungsquelle erzeugten periodischen oder pulsförmigen Modulationssignal beleuchtet wird und dieses als intensitätsmoduliertes Strahlungsfeld auf dem Bildsensor (13) zweidimensional abgebildet wird, derart, daß Informationen über die Form und/oder Struktur des Objekts vorliegen.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalladungen jeweils in den Speicherzellen (21, 26) periodisch aufaddiert werden.

*Fig.1*

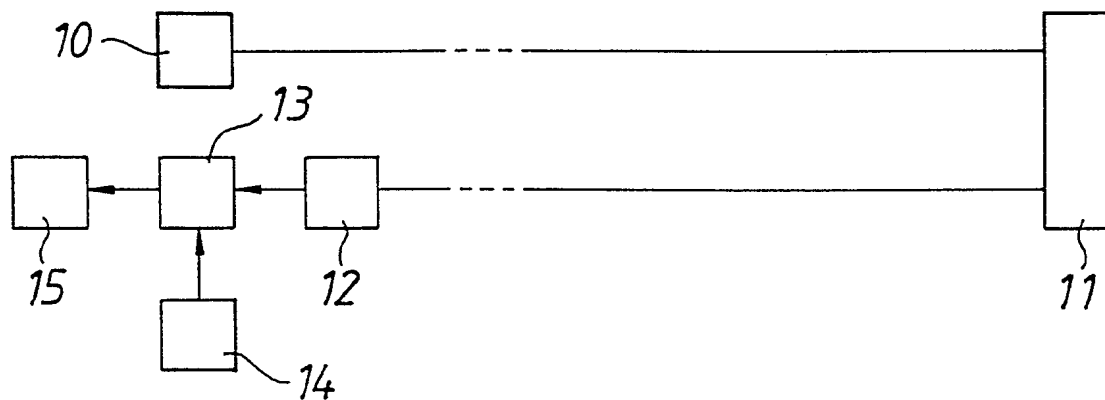


Fig. 2

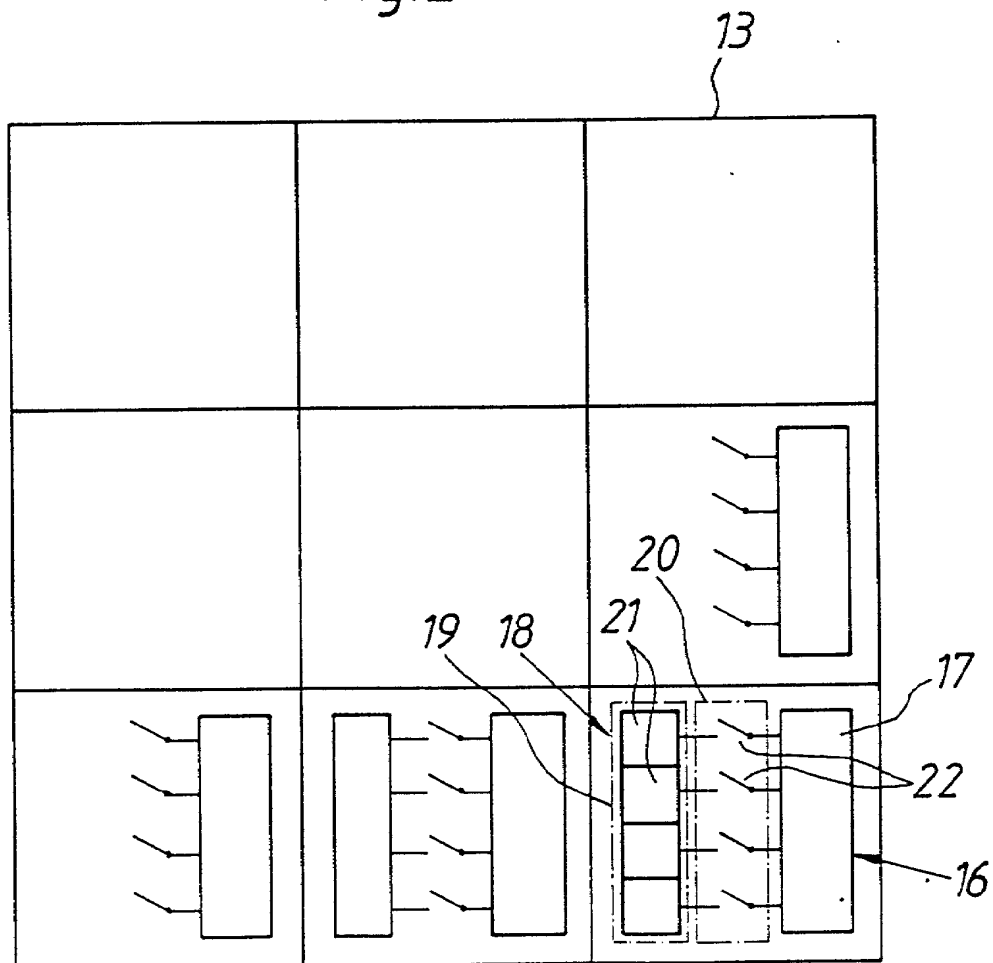


Fig.3

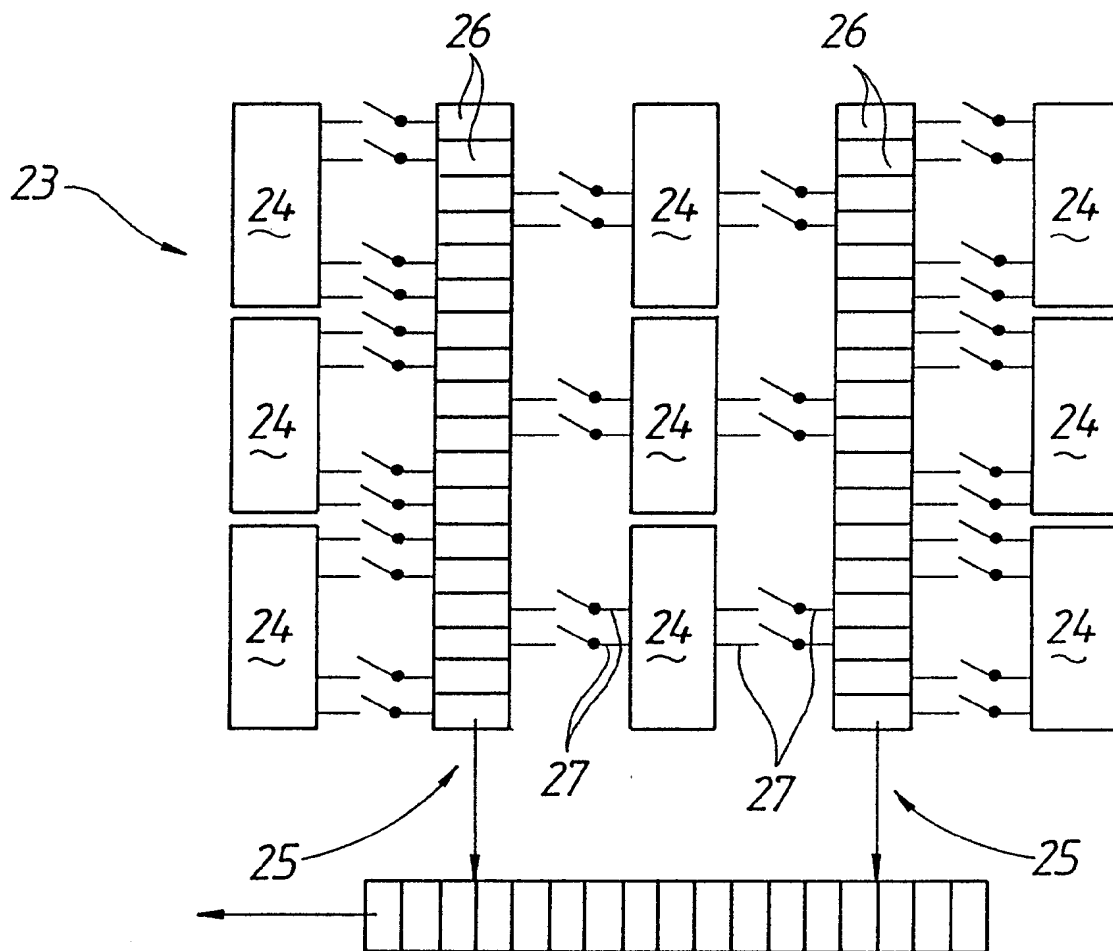


Fig. 4

